

生殖中心 IVF 实验室空气流动数值模拟

张家宝^{1,2}

1.天津大学建筑工程学院,2.厦门大学附属第一医院

摘要: 生殖中心 IVF 实验室在试管婴儿培育中起到重要作用,对其室内空气流动数值模拟,为临床医生提供参考依据,本文利用 N 点风口动量模型,以简化描述利用计算流体动力学 CFD 方法模拟室内空气流动时百叶、多孔板类送风口的入流边界条件,利用 k- \square 紊流模型进行计算,数值模拟生殖中心 IVF 实验室空气流动。

关键词: 生殖中心 IVF 实验室 N 点风口动量模型 CFD 方法 k- \square 紊流模型

Airflow simulation of IVF laboratory of reproductive center

ZHANG Jiabao^{1,2}

(1.School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072; 2.The First Affiliated Hospital Of Xiamen University, Xiamen 361003)

Abstract: IVF laboratory of reproductive center plays an important role in cultivating of test tube baby. Indoor airflow of IVF laboratory is simulated to provide the reference basis for clinicians. N2-point momentum model is proposed to directly describe in let boundary conditions of indoor airflow simulation in computational fluid dynamics (CFD) calculation. This paper have used the k- \square turbulence model for simulating indoor airflow of IVF laboratory.

Keywords: in vitro fertilization (IVF) laboratory of reproductive center; N2-point momentum model; computational fluid dynamics (CFD); k- \square turbulence model

1. 引言

近年来随着计算机计算能力的大大提高,计算流体动力学 CFD (computational fluid dynamics) 技术越来越多地应用于指导空调通风房间的气流组织设计及其评价分析^[1]。而空调通风房间实际的送风口几何形状很复杂,其入流边界条件难以描述。目前主要有两类风口模型用于简化描述复杂的空调风口入流边界条件:间接描述盒子类风口模型和直接描述类风口模型^[2]。盒子类风口模型包括盒子模型、指定速度模型和主流区模型等,这类模型把送风口入流边界条件描述转化到包围送风口的一个盒子的边界上,借助实验值或者射流公式描述边界条件,避免了直接描述送风口出口处复杂的流动情况,但这种方法存在着实验测量麻烦且无法用于设计阶段的预测等问题,或者,受射流公式不可靠、射流是否受限或等温的影响。直接描述类风口模型包括基本模型、动量模型,这类模型直接在送风口处描述入流边界条件,具有不受送风射流等温与否、受限与否的限制等优点,因此实际应用中以直接描述类风口模型最为简便。但是基本模型对于开口有效面积和总面积相比较小的送风口误差较大,如多孔板类送风口^[3]。动量模型考虑了影响风口射流的主要因素,极适合工程应用。为此,本文在动量模型的基础上,对百叶风口以及孔板类送风口用 N 个“基本”的动量模型进行描述,即所谓的 N 点风口动量模型,以方便指导工程应用。

2. 数学模型及其解法

2.1 基本控制方法

模型中采用三维 k- \square 紊流模型^[4],基本控制方程如下。

(1) 连续性方程

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

(2) 动量方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial X_j}(\rho U_j U_i) = -\frac{\partial p}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \right] + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

式中, μ_t 由紊流动能 k 及紊流动能耗散率 \square 确定, $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$ 。

(3) k 方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial X_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] + G - \rho \epsilon \quad (3)$$

(4) \square 方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial X_j}(\rho U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial X_j} \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} G - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

式(3)和式(4)中的 G 为产生项,表达式为 $G = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial X_j}$ 。

式(1)至式(4)中为流体密度; p 为压强; t 为时间; U_i 为 i 方向的速度分量; μ 为动力粘性系数; F 为作用于单位质量空气的体积力; $k = \overline{u_i' u_i'}/2$ 是单位质量紊流动能; δ_{ij} 是 Kronecker 函数; σ_k 是紊流动能普朗特数; \square 为紊流动能耗散率; σ_ϵ 为耗散率普朗特数; C_μ 、 $C_{\epsilon 1}$ 、 $C_{\epsilon 2}$ 、 σ_k 和 σ_ϵ 是模型通用常数,分别取为 0.09、1.44、1.92、1.0 和 1.3。

2.2 计算方法

模型求解采用有线体积法,二阶迎风格,压力-速度耦合采用压力矫正法,迭代计算方法是 SIMPLE 算法,离散方程的求解采用 TDMA 法,时间差分采用全隐格式。

2.3 边界条件及网格划分

固壁边界均采用无滑移条件,采用边长 0.15 米的四面体网格,新风口截面为进流边界,按平均速度给出,回风口截面为出流边界,按恒压出口设置,如图所示。

3. 计算结果及分析

本文对生殖医学中心 IVF 实验室进风、回风进行数值计算,对有、无手术工作台进行对比分析,不同情况的流速示意图、断面流速分布进行了分析比较。



a) 无手术工作台 b) 有手术工作台
图 1 计算区域及网格



a) 无手术工作台 b) 有手术工作台
图 2 流速矢量图(进风风速 0.5M/S)

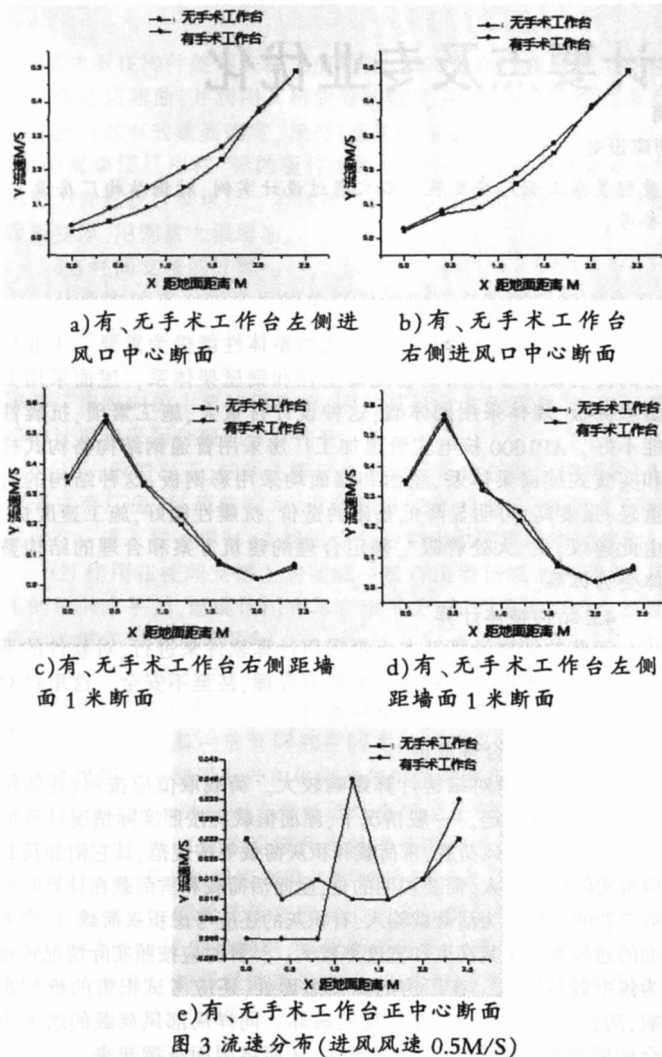


图3 流速分布(进风风速0.5M/S)

对无手术工作台工况,流速矢量图图2 a)、图3 a)b)c)d)e)表明,按流速大小形成流速区域、低流速区域,流速区域呈对称

(上接第165页)钢筋晶粒度提高1—3级,屈服强度提高了50~100MPa,生产成本降低近100元/吨以上。另外,由于轧件轧后温度的降低,钢材成品表面二次氧化铁皮明显减少,不仅提高了产品表面质量,而且还大大改善了轧钢精整工序的环境温度,实现了环境友好^[4]。

4、HRB400E 抗震钢筋生产

5.12 特大地震,再次向人们敲响警钟,提高建筑物抗震性能的问题已经引起政府和企业的高度重视。为了提高我国建筑物的抗震性,新的国家标准 GB1499.2-2007 对率先对其抗震性能进行修订和完善,以此为契机,2009 初安钢开始研制开发 HRB400E 热轧带肋抗震钢筋。

钢筋的抗震性能,主要是考虑稳定屈服强度(Rel),提高强屈比,增加钢筋的最大力总伸长率(Agt)。稳定钢筋的屈服强度,将其控制在一定的范围之内,可以使所有受力钢筋都能够比较均匀的承受力量。提高抗拉强度(Rm)与屈服强度(Rel)的比值,有利于提高钢筋的安全储备。当建筑物受到地震破坏发生变形时,钢筋在延伸过程中吸收了能量而不断裂,仍然能在建筑结构中起到加强材料的作用。

为确保抗震钢筋性能,进行了不同规格 HRB400E 钢筋抗震性能检验。检验项目分别包括:强度特征值、最大拉力下的总伸长率 Agt、焊接试验等。在现有工艺条件下生产的 HRB400E 热轧带肋钢筋,其钢筋的手工电弧焊和闪光对焊的焊接性能完全能够达到用户施工要求。为确保抗震钢筋性能,考虑小规格(如:Φ14mm)钢筋强度容易超上限问题,调整小规格的 Mn、V 含量,对大规格优化轧制过程控制,确保大、小两个规格均 100%达到

分布形成2个区域,由进风口-扩散区-出风口形成单向流速。低流速区域由左、右上角区域及中间大区域形成,低流速区域流速在左、右上角区域内形成涡流,中间大区域形成不活跃区,未行成明显涡流区。

对有手术工作台工况,流速矢量图图2 b)、图3 a)b)c)d)e)表明,按流速大小形成流速区域、低流速区域,流速区域呈对称分布形成2个区域,由进风口-扩散区-出风口形成单向流速。低流速区域由左、右上角区域、左、右床角区域及中间大区域形成,低流速区域流速在左、右上角区域、左、右床角区域内形成涡流,中间大区域形成不活跃区,未行成明显涡流区。

对有、无手术工作台工况,流速区域有手术工作台偏小、流速变大,多形成左、右床角区域两处涡流区域,对于空气扩散及净化空气不利。

4. 结论

在进行生殖中心 IVF 实验室整体模型空气动力学特性研究,一般不模拟有工作台的情况,而且认为对研究结果不会有大的影响,本文结合有、无手术工作台工况,利用三维 k-ε 紊流模型进行数值模拟,通过分析流速分布对这一问题进行了论证,就整体而言,不模拟手术工作台,其结果基本能反映生殖中心的空气动力学特性。微小差别有手术工作台工况形成局部涡流,建议在手术室内减少摆放异物,边角细节部分必须做弧形处理,减少棱角对空气动力学的影响[5]。

参考文献:

- [1]N ielsen P V. Description of supply openings in numerical models for room air distribution [J].ASHRAE Transactions, 1992, 98(1): 963-971.
- [2]赵彬,李先庭,彦启森.室内空气流动数值模拟的风口模型综述[J].暖通空调, 2000, 32(5): 33-38.
- [3]赵彬,李先庭,彦启森.室内空气流动数值模拟的 N 点风口动量模型[J].计算力学学报,2003,20(1):64-67.
- [4]庄达民,袁修干.差分格式的组合优化[J].北京航空航天大学学报,1999, 25(2): 192-196.
- [5]许钟麟.空气洁净技术原理[M].北京:科学出版社,2003.199-201.

GB1499.2-2007 标准对抗震钢筋的技术要求。

5.1 安钢生产的高强系列带肋钢筋的质量稳定可靠,已工业化生产并得到广泛应用,其中 HRB400 钢筋的年产量已达 120 万吨以上,广泛应用于深圳国贸大厦、京深高速公路、黄河大桥、三峡水利工程和黄河小浪底水利枢纽等国家重点工程。

5.2 安钢做为国内建筑用热轧钢筋生产基地之一,在对高强钢筋生产技术研究的基础上,一方面继续做好推广国内高强热轧钢筋应用工作,另一方面一些专用高强度钢筋已引起公司的关注并列入研发人员的调研和开发计划。如一些高层建筑、立交桥、大跨度的厂房等需要高强精轧带肋钢筋、矿用无纵肋锚固用高强钢筋、及耐腐蚀钢筋的研究。

5.3 随着我国与国际接轨的步伐加快,建筑用高强钢筋不仅要满足国内建筑的需要,而且还要积极加入国际市场的竞争,满足国际市场的需要。因此,研究开发日标、美标、英标等高强钢筋,也将是安钢高强钢筋研究推广的课题之一。

参考文献:

- [1]王新江,李子林,段贵生.安钢微合金化钢生产技术进展[J].河南冶金,2006(增刊):p1
- [2]祝学智,范银平.460MPa 及 500MPa 级热轧带肋钢筋的研制与开发[M].冶金标准化与质量,2002(4):22-44
- [3]王有铭,李曼云,韦光.钢材的控制轧制和控制冷却[M].冶金工业出版社,1995:4-11
- [4]靳熙,范银平,姚志潭,王晓燕.低成本带肋钢筋生产工艺研究与应用[J].河南冶金,2010(1):21-22